

Experimentelle Untersuchungen zur sonographischen Gallensteindiagnostik

von
Hermann Magerl
aus
Obertraubling

Aus der Medizinischen Klinik mit Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. L. Demling

Experimentelle Untersuchungen zur sonographischen Gallensteindiagnostik

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
dem Fachbereich Medizin
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt
von
Hermann Magerl
aus
Obertraubling

Gedruckt mit Erlaubnis des Fachbereichs Medizin
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. E. Rügheimer

Referent: Prof. Dr. L. Demling

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Okt. 1976

Meiner lieben Ehefrau gewidmet.

I N H A L T

	Seite
Einleitung	1
Methodik	2
Ergebnisse	5
Diskussion	8
Zusammenfassung	14
Abbildungen	15 - 39
Literaturverzeichnis	40

Einleitung

In mehreren Publikationen der letzten Jahre wurde auf die Anwendung des Ultraschalls in der Diagnostik von Gallensteinen hingewiesen (11,14,15,16,20). Ein Teil der Autoren schlägt dabei dieses Verfahren zur Anwendung bei röntgenologisch negativem Cholezystogramm vor (2,4,8,17). Andere Autoren sind dagegen der Ansicht, daß die Ultraschallmethode bei Verdacht auf Gallensteine als erste Methode, also vor den röntgenologischen Standardverfahren, eingesetzt werden sollte, da sie völlig risikofrei ist und keine Strahlenbelastung für den Patienten bedeutet (14).

Ein Grund für die unterschiedliche intensive Anwendung dieses Verfahrens scheinen die auffallend unterschiedlichen Ergebnisse zu sein, die hinsichtlich der Treffsicherheit dieser Methode von verschiedenen Autoren in kontrollierten Studien ermittelt wurden. Dabei dürfte die Zuverlässigkeit des Ultraschallverfahrens vom verwendeten Ultraschallsystem abhängig sein. Jedenfalls sprechen die Resultate, die in dieser Fragestellung an der Medizinischen Universitätsklinik Erlangen gewonnen wurden (14), dafür, daß zur Gallensteindiagnostik ein Parallel-Scan-System (10) besonders geeignet ist. Bei diesem System ist nicht nur der Steinreflex selbst, sondern auch der Schallschatten ein wichtiges diagnostisches Kriterium, das insbesondere falsch-positive Ergebnisse zu vermeiden hilft.

Um diesen Erfahrungseindruck zu untermauern, sollen experimentelle Untersuchungen mit Gallensteinen durchgeführt werden. Folgende Fragen sollen geklärt werden :

1. Ab welcher Steingröße wird ein Echo erkennbar
2. Ab welcher Steingröße wird ein Schallschatten erkennbar
3. Besteht eine Beziehung zwischen Größe des Steins und Intensität des Steinechos
4. Besteht eine Beziehung zwischen Größe des Steins und Durchmesser des Schallschattens
5. Sind Intensität des Echos und Durchmesser des Schallschattens, und damit die Erkennbarkeit von kleinen Steinen, von der chemischen Zusammensetzung des Steines, von der Steinform oder der Steinoberfläche abhängig.

Methodik

Gerät : Zur Untersuchung der Steine wurde das gleiche Gerät, das in der klinischen Diagnostik benützt wird, verwendet (Vidoson, Siemens). Dieses Gerät ist vom Typ des schnellen B-Bildsystems mit Graustufung. Das Ultraschallbild wird in 60 msec. und etwa 16mal pro Sekunde in folgender Weise aufgebaut: Zwei um 180° gegeneinander versetzte Ultraschallsender sind auf einer sich drehenden Welle im Brennpunkt eines zylindrischen Parabolspiegels angeordnet. Jeweils ein Ultraschallsender schickt Ultraschallimpulse zum Spiegel. Diese werden dort reflektiert, wobei gleichzeitig das Ultraschallbündel fokussiert wird. Sofort nach Aussenden eines Ultraschallimpulses wird die Ultraschallsonde auf Empfang geschaltet. Durch Drehung des Schallsenders um insgesamt 180° wird durch die Reflektion am Parabolspiegel so die Verschiebung der einzelnen Ultraschallimpulse längs einer geraden Linie erreicht. Dabei laufen die einzelnen Ultraschallimpulse parallel zueinander. Insgesamt wird das Bild aus 140 nebeneinander laufenden Ultraschallimpulsen aufgebaut, wobei die Echos jedes einzelnen Ultraschallimpulses einer vertikalen Bildzeile entsprechen. Die Ultraschallfrequenz ist 2,5 MHz. Die durchschnittliche Ultraschallintensität liegt bei 3 mWatt / qcm. Das Ultraschallnahfeld ist in eine Wasservorlaufstrecke, also außerhalb des Untersuchungsbereiches, gelegt, da es eine komplizierte Wellencharakteristik aufweist (6,7,9,10). Das Auflösungsvermögen dieses Gerätes ist durch die verwendete Ultraschallfrequenz, die Dauer eines Ultraschallimpulses und den Zeilenabstand bedingt. Es beträgt theoretisch in Schallstrahlrichtung 1 mm, quer dazu 3-4 mm (9,10).

Die Untersuchung der Gallensteine wurde in einem Wasserbad durchgeführt. Um schwimmende Steine am Auftrieb zu hindern, wurden sie teilweise mit einem Faden fixiert. Hinter den Steinen wurde mit Hilfe von flüssigkeitsgetränkter Watte das sonographische Strukturbild von Gewebe nachgeahmt, um den Schallschatten erkennen und ausmessen zu können. Die Steine wurden sowohl in der Flüssigkeit schwebend, als auch der flüssigkeitsgetränkten Watte aufliegend untersucht. Besonders mit der letzteren Anordnung sollten die Gegebenheiten in vivo soweit als möglich simuliert werden, da die meisten Gallensteine der Rückwand der Gallenblase bei Untersuchung im Liegen aufliegen.

Es ist aber anzunehmen, daß ein in strukturfreier Flüssigkeit befindliches Steinecho leichter zu erkennen ist, als das Echo eines aufliegenden Steines, das sich von den Echos der Rückwand abheben muß. Mit einer Distanz von 5 und 7 cm vom Applikator wurden ebenfalls die in vivo gegebenen Distanzen übernommen.

Alle Befunde wurden durch Abfotografieren vom Bildschirm mit einer Kleinbildkamera unter Verwendung eines hochempfindlichen Filmes (Kodak Tri-X Pan 27/10 DIN) dokumentiert. Zusätzlich wurde die horizontale Ausdehnung der Steinechos sowie der Durchmesser des Schallschattens direkt am Bildschirm ausgemessen.

Aus den insgesamt 400 zur Verfügung stehenden Gallensteinen, die bei Cholezystektomien bzw. bei Sektionen gefunden wurden, wurden insgesamt 46 Steine ausgewählt. Aus ihnen wurden insgesamt 8 Untersuchungsreihen zusammengestellt, wobei einzelne Steine in mehreren Reihen verwendet wurden. Die einzelnen Reihen umfaßten jeweils Steine, die sich nur möglichst in einem Kriterium voneinander unterschieden. In den Serien C, F und G wurden insgesamt 18 annähernd runde Steine der Größe nach (2-39 mm) zusammengefaßt. In der Serie D und H wurden insgesamt 18 Steine, die sich in der Form unterschieden, untersucht. In der Serie E waren schließlich 11 Steine enthalten, die sich in der Oberflächenbeschaffenheit unterschieden. Die Serie A diente nur der Überprüfung der Methodik. (s. Abb. 10-17).

Leider war es nicht möglich, alle untersuchten Steine auch chemisch hinsichtlich ihrer Zusammensetzung analysieren zu lassen. Ersatzweise wurden daher alle untersuchten Steine auch in vitro röntgenologisch untersucht, um sicherzustellen, daß in den Serien auch völlig kalkfreie, also röntgen-negative, reine Cholesterinsteine enthalten waren. Wie aus den Abbildungen 10-17 zu erkennen ist, waren in den Untersuchungsreihen mindestens 4 völlig kalkfreie Steine enthalten (C4, D2, E4, E2).

Ergebnisse

Die Serie A, die 7 Steine mit unterschiedlicher Oberfläche und Form in einer Größe von 3 - 23 mm umfaßte, diente der Überprüfung der Versuchsanordnung. Es zeigte sich zunächst, daß alle Steine aufgrund des Steineintrittsreflexes zu identifizieren waren. Der Steinreflex selbst war der Abbildungsgeometrie des verwendeten Ultraschallverfahrens entsprechend diskusförmig. In einem Teil der Fälle fanden sich (s. Abb. 19) hinter dem eigentlichen Steineintrittsreflex noch weitere kleinere Reflexe. Ein Größenunterschied zwischen den Eintrittsreflexen schwebender Steine und den Eintrittsreflexen, die an Steinen entstanden, die der Watteschicht auflagen, fand sich nicht.

Der Schallschatten, der hinter einem Teil der Steine (s. unten) entstand, war gegen das Reflexmuster, das von der Watteschicht erzeugt wurde, deutlich abzugrenzen. Es fiel allerdings auf, daß unmittelbar hinter dem Stein, bis zu einer Distanz von 3 cm der Schallschatten manchmal weniger intensiv und auch nicht so breit war, wie in größerer Tiefe (s. Abb. 19). Dies galt besonders bei kleineren Steinen.

Die weiteren Messungen wurden daher stets in 5 cm Distanz vom Eintrittsreflex des Steines durchgeführt.

Im übrigen wurde aufgrund dieser ersten Serie auch eine Standardeinstellung am Gerät, also eine Standardeinstellung der Anfangsverstärkung und des Tiefenausgleiches (s. oben) festgelegt. Diese kann aber nicht exakt in Dezibel angegeben werden, da eine derartige genaue Eichung bei den kommerziellen Geräten nicht vorhanden ist und die einzelnen Geräte in dieser Hinsicht auch nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden können, wie die Erfahrung in der klinischen Anwendung gezeigt hat. Die Analyse der Steine der Serien C und G, die eine kontinuierliche Größendifferenz von 2 - 39 mm aufwiesen, zeigte, daß Steine ab 2 mm unter den Versuchsbedingungen erkennbare Steinechos bildeten (s. Abb. 1-3). Bei den aufliegenden Steinen waren diese Echos in allen Fällen von den "Strukturechos" der Wattauflage zu differenzieren. Der Steinreflex war im übrigen in der Regel größer als der Stein selbst. Die genauen Daten sind den Abbildungen 1 bis 3 zu entnehmen.

Die Abb. 1 zeigt die Beziehung von Steingröße zu Steinreflex. Die Regressionsanalyse ergibt eine Geradenfunktion von $y = 1,12 x + 6,64$. Wie sich aus der Abb. 3 dagegen entnehmen läßt, findet sich bei der Serie G, die die größeren Steine von 18 - 39 mm Durchmesser umfaßt, eine Geradenfunktion von $y = 1,04 x + 5,31$. Nur bei den größeren Steinen war eine signifikante Beziehung der Reflexdurchmesser zum Steindurchmesser statistisch zu sichern.

Die Steine der Serie F (Abb. 2) entsprechen den Steinen der Serie C. Sie wurden nur schwebend untersucht. Den Abbildungen ist zu entnehmen, daß sich kaum abweichende Ergebnisse im Vergleich zur Serie C ergaben. Bei den Steinen der Größen von 2 - 4 mm war kein Schallschatten zu erkennen (s. Abb. 4,5). Bei Steingrößen von 5 - 7 mm war nur in einem Teil ein Schatten erkennbar. Der Schatten war dann meist nur angedeutet und ließ sich nicht ausmessen. Steine ab einer Größe von 8 mm verursachten konstant einen Schallschatten, der ausgemessen werden konnte. Wie den Abbildungen 4 - 6 zu entnehmen ist, war der Schattendurchmesser gewöhnlich 1 - 2 mm größer als der Steindurchmesser. Die statistische Analyse der Beziehung Steingröße zu Durchmesser des Schallschattens (s. Abb. 4-6) zeigte bei den einander entsprechenden Serien C und F eine von 45° nicht signifikant verschiedene und bei der Serie G eine von 45° signifikant verschiedene Steigung.

Die Serien D und H erfassen Steine mit annähernd gleichem Durchmesser, die jedoch sehr unterschiedliche Formen von rund über oval bis polyedrisch und geweihförmig aufwiesen. Der Steinreflex bei diesen Steinen war, wie den Abb. 7, 8 zu entnehmen ist, in der Regel deutlich größer als der Stein. Eine Beziehung zwischen der Größe des Steines und dem Steinreflex war - wie zu erwarten - nicht herzustellen. Alle Steine dieser Serien, die einen Mindestdurchmesser von 7 mm aufwiesen, zeigten Schallschatten. Wie den Abbildungen zu entnehmen ist, wuchs der Durchmesser des Schallschattens nur relativ gering von dem Steindurchmesser ab (vgl. auch Abb. 14, 15).

In einer weiteren Serie wurde schließlich die Oberfläche der Steine variiert. Wie der photographischen Abbildung dieser Serie (Abb. 16,17) zu entnehmen ist, reichten die Variationen von glatt bis maulbeerförmig und grobstachlig mit über 1 mm großen Vertiefungen.

Auch hier (s. Abb. 9) zeigte sich der Steinreflex in allen Fällen deutlich größer als der Steindurchmesser, die Variationsbreite war sehr groß. Die Durchmesser der Steinschatten bei diesen 10 - 14 mm großen Steinen zeigten dagegen wiederum eine engere Korrelation zum Steindurchmesser.

Ähnlich wie bei den Formvarianten fanden sich auch hier Schattenbreiten, die geringer waren als der Steindurchmesser (vgl. auch Abb. 16,17).

Diskussion

Ziel dieser experimentellen Arbeit war es, zu klären, ab welcher Größe Gallensteine einen erkennbaren Reflex verursachen. Wir sahen, daß bereits ein 2 mm großer Gallenstein im Experiment einen deutlich erkennbaren Reflex zeigt. Dieser war auch beim aufliegenden Stein aufgrund seiner Lage vor der Auflagefläche gegen die "Parenchymreflexe" der als Auflage dienenden Watte gut zu differenzieren. Die Reflexe dieser kleinen Steine (Größenordnung 2-5 mm) unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Intensität jedoch nicht eindeutig von den "Parenchymreflexen". Auch durch Manipulation am Gerät, etwa im Sinne einer Unterdrückung der schwächeren Echos, läßt sich das Steinecho nicht prinzipiell gegenüber den im Gewebe entstehenden Echos herausheben (11). Es ist daraus verständlich, daß sich in der klinischen Diagnostik bei sehr kleinen Gallensteinen falsch-negative Resultate ergeben (11,14,17,18).

Die Meßergebnisse bei Steinen, die sich bei möglichst idealer rundlicher Form und relativ glatter Oberfläche nur in der Größe unterscheiden, zeigten, daß die Größe des Reflexes von der Größe des Steines abhängig war. Die Abhängigkeit war jedoch bei kleinen und mittleren Steinen (s. Abb. 1) nicht signifikant ($y = 1,12x + 6,64$). Eine Signifikanz in der Beziehung zwischen Reflexgröße und Steingröße ergab sich nur bei großen Steinen (s. Abb. 3). In allen Fällen war der Steinreflex größer als der Stein selbst. Dieses Phänomen ist aus der Abbildungsgeometrie des verwendeten Ultraschallverfahrens verständlich. Bei dem verwendeten Verfahren wird jedes Ultraschallecho als Helligkeitsmodulierter Lichtpunkt auf dem Bildschirm erkennbar. Der Lichtpunkt besitzt aber eine geometrische Ausdehnung, die bei der vergleichsweise schlechteren lateralen Auflösung diskusförmig ist. Bei zunehmender Intensität des Echos wird der Lichtpunkt nicht nur heller, sondern auch größer. Damit ist von vornherein zu erwarten, daß aufgrund der seitlichen Ausdehnung der beiden Lichtpunkte, die die an der seitlichen Begrenzung des Steines entstehenden Echos repräsentieren, dazu führen, daß der gesamte Reflex des Steines eine größere Breitenausdehnung hat als der Stein selbst.

Die seitliche Überlappung der einzelnen Echos, die am Stein entstehen, führt auch dazu, daß in fast allen Fällen - also auch bei nicht ideal runder Form des Steines - ein insgesamt geschlossener Reflex des Steines entsteht. Es ist also nicht zu erwarten, daß das Reflexmuster eines stark verzweigten Steines sich ähnlich verzweigt auf dem Schirm abbilden läßt. Dies wurde bei den Untersuchungsreihen mit Formvarianten (Abb. 7,8) bestätigt. Hier wurde als Extrem ein korallenartig verzweigter Stein untersucht (Abb. 14), der lediglich ein etwas aufgesplittertes Echo verursachte. Überraschend wenig wurde auch die Gesamtgröße des Reflexes durch die Form des Gallensteines beeinflusst. Jedenfalls ließ sich bei den Steinen, die der Form nach variiert wurden, keine eindeutige Beziehung zwischen Größe des Reflexes und Form des Steines finden, dergestalt etwa, daß stark verzweigte oder kantige Steine immer einen größeren Steinreflex verursachen als rundliche Steine (vgl. Abb. 7,8). Dies gilt in ganz ähnlicher Weise für die Veränderungen der Steinoberfläche. Hier wurden in einer Serie gleich große Steine untersucht, die einmal eine völlig glatte und in anderen Fällen eine höckerige, gefurchte, oder stachelige Form aufwiesen. Auch hier fand sich keine Beziehung zwischen Reflexgröße und Ausmaß der Oberflächenveränderung, wenn auch die Differenz zwischen Steinreflex und Steindurchmesser mit + 5 und + 14 stark variierte.

Bei dem Pyramidenstein B 2 war die im Durchschnitt dreieckförmige Gestalt aber auch aufgrund der abgebildeten Echos am Bildschirm gut zu erkennen (s. Abb. 11,12,22). Gleichzeitig fiel hinter diesem Stein eine spiegelbildliche Darstellung der Steinreflexe auf. Das Zustandekommen dieses spiegelbildlichen Artefaktes konnten wir nicht deuten. Ganz generell muß aber bei Steinen mit Artefakt gerechnet werden, schon deswegen, weil die Schallausbreitungsgeschwindigkeit im Stein sicherlich wesentlich höher ist als in Flüssigkeit, bzw. in biologischen Geweben (3,12). Dies gilt in gleicher Weise auch für die Ultraschalluntersuchung von Knochen. Im Knochen breitet sich Ultraschall mit einer Geschwindigkeit von 3.360 m/sec., also doppelt so schnell wie in anderen biologischen Geweben aus (3,5,12). Bei mehreren Steinen beobachteten wir neben dem Steineingangsreflex dahinter noch ein zweites kleineres Echo (s. Abb. 19). Es ist nicht klar, ob dieses zweite Echo in gleicher Weise wie bei den beschriebenen Pyramidensteinen als Artefakt zu deuten ist, oder ob es sich hier doch um ein im Vergleich zum Eintrittsecho deutlich schwächeres Steinaustrittsecho handeln könnte.

Auffallenderweise beobachteten wir dieses Phänomen nämlich gehäuft bei Steinen, die entweder völlig kalkfrei waren, oder nur wenig Kalk enthielten. Von der Steingröße oder der Steinform war dieses Phänomen in keiner Weise abhängig. Es wurde ebenso bei kleinen Steinen, die noch keinen Schallschatten verursachten und bei großen Steinen, die einen Schallschatten verursachten, beobachtet.

Bei Steinen mit einem Durchmesser von 2 - 4 mm war in keinem Fall ein Schallschatten erkennbar. Steine der Größe 5 - 6 mm zeigten in Einzelfällen einen angedeuteten Schallschatten. Steine von 7 mm Größe verursachten mit einer Ausnahme regelmäßig einen Schallschatten. Alle größeren Steine zeigten immer einen Schallschatten (Abb. 4-6). Bei den Steinen mittlerer Größe zwischen 7 und 15 mm war die Beziehung zwischen Durchmesser des Schallschattens und Steingröße signifikant ($y = 0,97 x + 2,68$ bzw. $y = 1,09 x + 0,34$ s. Abb. 4,5). Die Regressionsanalyse verdeutlichte auch, daß die Beziehung zwischen Schallschatten und Steingröße enger war, als die Beziehung zwischen Steingröße und Steinreflex. Bei den ideal runden Steinen wich der Schallschatten max. um 2 mm von der Steingröße ab (Abb. 5).

Bei den Steinen mit höckriger Oberfläche oder abweichender Form max. um 4 mm. Auch hier war der Durchmesser des Schallschattens nur von der Größe des Steins, nicht jedoch von Form oder Oberflächenbeschaffenheit oder Zusammensetzung des Steines abhängig (Abb. 7 - 9).

Die eingangs gestellten Fragen ließen sich also aufgrund der experimentellen Untersuchungen wie folgt beantworten :

1. Bereits ein Stein von 2 mm Größe verursacht einen in vitro deutlich erkennbaren und zu differenzierenden Reflex.
2. Steine ab 7 mm Größe verursachen immer, Steine zwischen 5 und 7 mm nur manchmal einen charakteristischen Schallschatten.
3. Es besteht eine Abhängigkeit der queren Ausdehnung des Steinreflexes von der Größe des Steines. Die Regressionsanalyse zeigte aber, daß diese Beziehung, wohl aufgrund der geringen Probenzahl, nicht signifikant war.

4. Zwischen Größe des Steines und Breite der von ihm verursachten Schattenzone ist eine engere Beziehung vorhanden als zwischen der Steingröße und dem Steinreflex. Mindestens bei den mittelgroßen Steinen zwischen 7 und 15 mm Durchmesser unterscheidet sich die Beziehung von Breite des Schallschattens zum Steindurchmesser nicht signifikant von 1. Allerdings ist bei allen Messungen einschränkend anzumerken, daß das Auflösungsvermögen des verwendeten Ultraschallsystems im Bereich von 1 bis 4 mm liegt (9,10), also in dem Bereich, in dem die Messungen durchgeführt werden mußten.

5. Nur die Steingröße, nicht aber die Oberflächenbeschaffenheit oder Steinform, beeinflußt die Breite von Steinreflex und Schattenzone. Hier ist allerdings anzumerken, daß die Breite des Steinreflexes nur in geringem Maße (s.oben) von der Intensität des Steinechos abhängig ist. Eine direkte Messung der Intensität des Steinechos wäre nur mit einem amplituden-modulierten System (A-scan) durchführbar. Wenn es auch nicht möglich war, die Steine chemisch exakt zu analysieren, so ließ sich doch aufgrund der Röntgenanalyse nachweisen, daß röntgen-negative, also kalziumfreie Steine in gleicher Weise einen Reflex und eine Schattenzone verursachen wie röntgen-positive. Auffällig war allerdings, daß sich bei zahlreichen Steinen die wenig oder kein Kalzium enthielten, ein zweites Echo hinter dem Steinreflex abbilden ließ. Es war dabei nicht sicher zu entscheiden, ob es sich um einen Austrittsreflex des Steines handelt oder um ein Artefakt. Würde es sich um einen Austrittsreflex handeln, so müßte angenommen werden, daß der Schallintensitätsverlust im nicht kalziumhaltigen Stein doch etwas geringer ist als im kalziumhaltigen.

Betrachtet man die klinische Relevanz dieser Ergebnisse, so wird zunächst die klinische Erfahrung bestätigt, daß zwar alle Steine Reflexe geben, daß die Steinreflexe aber nicht aufgrund ihrer Intensität oder Art von vornherein von Gewebereflexen zu unterscheiden sind. Dieses Problem gilt natürlich in erster Linie bei kleinen Steinen und führt zu falsch-negativen Ergebnissen sowohl in der Gallensteindiagnostik als ganz besonders in der Nierensteindiagnostik, da hier der Stein nicht in einem flüssigkeitshaltigen, also echofreien Areal abgebildet wird, sondern im Bereich des Pyelon, in dem ohnehin schon schallintensive Reflexe vorhanden sind (13).

Weiterhin wird die Erfahrung aus der klinischen Diagnostik bestätigt, daß bei Verwendung eines Parallel-Scan-Systems der Schallschatten das wichtigste Kriterium für einen Stein darstellt (14). Dieses hilft vor allem, falsch-positive Ergebnisse zu vermeiden. Falsch-positive Ergebnisse finden sich dementsprechend auch hauptsächlich bei Autoren, die ein Compound-Scan-Verfahren verwenden, bei dem die Ultraschallstrahlen divergierend und konvergierend verlaufen und somit auch die eigentlich vom Stein erzeugte Schattenzone überdecken (2,4,8). Allerdings fehlt die Schattenzone bei Steinen, die kleiner als 7 mm im Durchmesser sind. Damit wird die Ultraschalldiagnostik insbesondere bei einzelnen kleinen (14,20) Steinen unsicher. Es können hier sowohl falsch-negative Befunde vorkommen, wenn sich der Steinreflex nicht genügend von der Hinterwand der Gallenblase abhebt. Es sind aber auch falsch-positive Diagnosen möglich, da aufgrund des in der Gallenblase gelegenen Reflexes bei Fehlen einer Schallschattenzone nicht sicher unterschieden werden kann, ob es sich um einen Stein oder etwa ein Septum handelt (Abb. 23). Allerdings läßt sich eine falsch-positive Diagnose in der Praxis dadurch vermeiden, daß man den Patienten im Liegen und im Stehen untersucht und auf den Lagewechsel des Steinreflexes im Gegensatz zum Septum achtet.

Insbesondere aufgrund des Durchmessers des Schallschattens läßt sich auf die Größe eines Steines wenigstens ungefähr schließen. Die Korrelation zwischen Größe des Schallschattens und der Größe des Steines ist wahrscheinlich doch zu ungenau, um die Röntgendiagnostik durch die Ultraschalldiagnostik in der Verlaufsbeobachtung einer chemischen Steinauflösung ersetzen zu können, zumal diese bekanntlich sehr langsam vonstatten geht. Es ist auch nicht möglich, aufgrund der Reflex- oder Schattencharakteristik auf die Art eines Steines zu schließen. Die oben diskutierte Möglichkeit eines Austrittsreflexes bei kalkfreien Steinen ließe sich in vivo allenfalls bei sehr großen Steinen erkennen.

Bei kleineren Steinen wären diese Echos gegen die Rückwandreflexe der Gallenblase nicht zu differenzieren. Andererseits kann aber festgestellt werden, daß alle Steine ohne Unterschied die beschriebenen Phänomene verursachen, daß es also keinen ultraschallpositiven oder ultraschallnegativen Stein analog zur Röntgendiagnostik gibt.

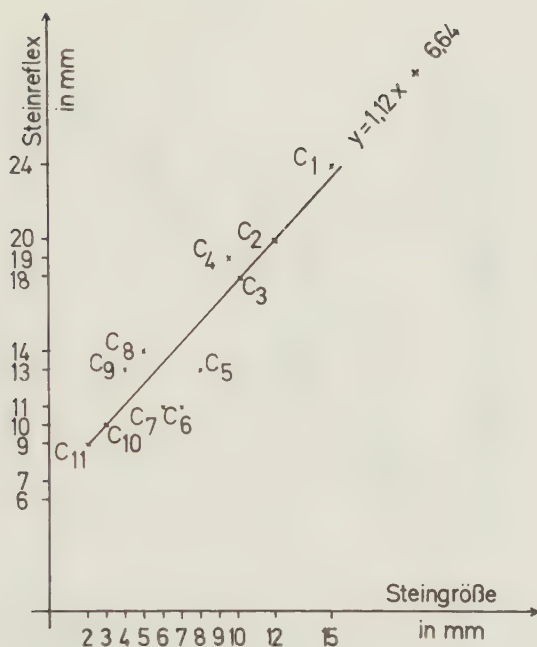
Bei Verwendung des Parallel-Scan-Systems wurden in vivo immer wieder völlig mit Steinen ausgefüllte Gallenblasen gefunden, bei denen keinerlei Steinreflex, sondern nur eine breite Schattenzone zu erkennen war (14). Aufgrund der hier durchgeführten Untersuchungen scheiden zwei denkbare Möglichkeiten aus, die zum Fehlen jeglichen Steinreflexes führen könnten: 1. Es gibt keinen Stein, der durch völlige Absorption des Schalls zwar eine Schattenzone verursacht, aber keinen Steinreflex. 2. Auch bei völlig glatten Steinen, die aufgrund ihrer pyramidenartigen Form über keine senkrecht zur Schallausbreitung stehende Grenzfläche verfügen, zeigt sich ein Steinreflex (s. Abb. 22). Dies beweist, daß auch Steine mit scheinbar glatter Oberfläche eine genügend große Rauhtiefe aufweisen. Diese bewirkt, daß der auf die schräge Grenzfläche auftreffende Schall nicht entsprechend dem Reflektionsgesetz nach der Seite reflektiert wird, sondern daß auch hier wie an allen biologischen Grenzflächen ein ganzes Bündel von Reflektionen entsteht. Somit kehrt auch ein Echo wieder zum auf Empfang geschalteten Sender zurück und der Stein wird somit abgebildet. Das Phänomen des fehlenden Steinreflexes muß also durch das Fehlen einer akustischen Grenzfläche erklärt werden: Der Übergang des akustischen Wellenwiderstandes vom umgebenden Weichteilgewebe über eine möglicherweise eingedickte Galle bis zum Stein ist stetig. Im Stein wird der Ultraschall weitgehend absorbiert. Somit entsteht eine Schattenzone, aber kein Steinreflex.

Zusammenfassung

In mehreren Versuchsreihen wurden insgesamt 46 durch Operation gewonnene oder bei Sektion gefundene Gallensteine in einem Wasserbad mit einem in der Diagnostik verwendeten Ultraschallgerät untersucht. Es sollte geklärt werden, inwieweit die in vivo zu beobachtenden Phänomene des Gallensteins, nämlich Steinreflex und Steinschatten, durch die Größe, die Oberflächenbeschaffenheit, die Form und durch die Art des Steines beeinflusst werden. Es zeigte sich, daß alle Steine ab 2 mm Größe einen Steinreflex verursachen. Bei kleinen Steinen unterscheidet sich das Steinecho hinsichtlich seiner Größe und Helligkeit aber nicht von den Reflexen, die im Weichteilgewebe entstehen.

Der Steinreflex ist in allen Fällen größer als der Steindurchmesser. Die Regressionsanalyse der Beziehung Steingröße zu Reflexgröße ergibt jedoch eine Gerade, deren Steigung von 45° signifikant verschieden ist. Weder Oberflächenbeschaffenheit oder Form, noch Art des Steines haben einen wesentlichen Einfluß auf den Steinreflex. Steine ab einer Größe von 7 mm verursachen einen Schallschatten. Die Breite des Schallschattens ist von der Größe des Steines abhängig, nicht jedoch von der Oberflächenbeschaffenheit, der Form oder der Art des Steines. Die Regressionsanalyse der Beziehung Steingröße zu Breite des Schallschattens ergibt eine Gerade, deren Steigung von 45° nicht signifikant verschieden ist.

Der Schallschatten stellt also das diagnostisch wichtigere Kriterium des Gallensteines dar. Eine sichere Gallensteindiagnostik mit Ultraschall ist dementsprechend bei Steinen ab einer Größe von 7 mm möglich, während bei kleineren Steinen sowohl falsch-negative Befunde - da sich der Steinreflex nicht immer genügend vom Gallenblasenwandreflex abhebt - als auch falsch-positive Befunde - da sich der Steinreflex nicht von einem bspw. am Septum entstehenden Reflex unterscheidet - möglich sind. Andererseits beeinflusst die Art eines Steines die Sicherheit der Ultraschall-diagnostik nicht, insbesondere gibt es keine "ultraschall-negativen" und "ultraschall-positiven" Steine. Es erscheint fraglich, ob die Größenabschätzung eines Gallensteines aufgrund seiner Schattenbreite ausreicht, dieses Verfahren zur Verlaufsbeobachtung bei chemischer Steinauflösung zu verwenden, zumal die Messungen im mm-Bereich mit einer Fehlerbreite belastet sind, da die Auflösung des verwendeten Ultraschallverfahrens ebenfalls im mm-Bereich liegt.

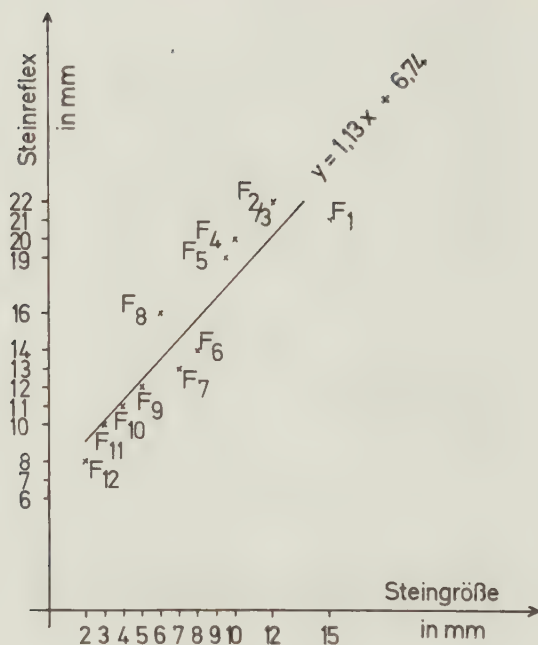


Nr	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Steingröße	15	12	10	9,5	8	7	6	5	4	3	2
Steinreflex	24	20	18	19	13	11	11	14	13	10	9

Abb. -1- : Serie C, Größenvariation

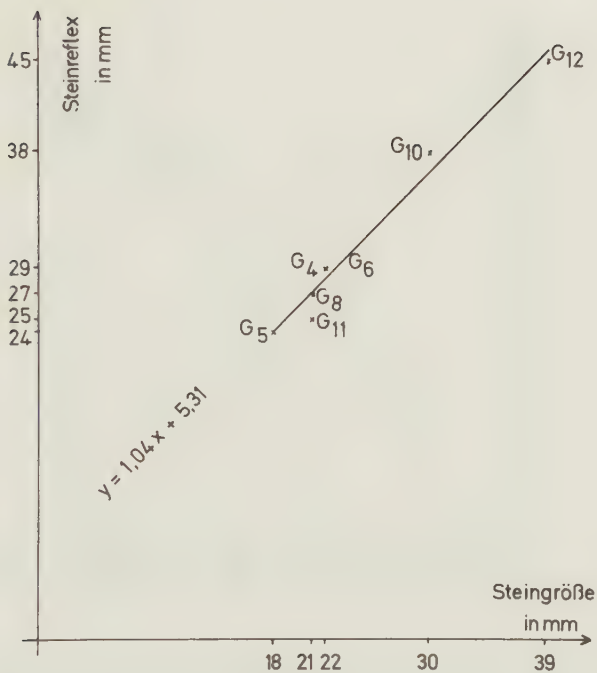
Beziehung von Steingröße zu Steinreflex

(vgl. Abb. 10, 11, 18, 20)



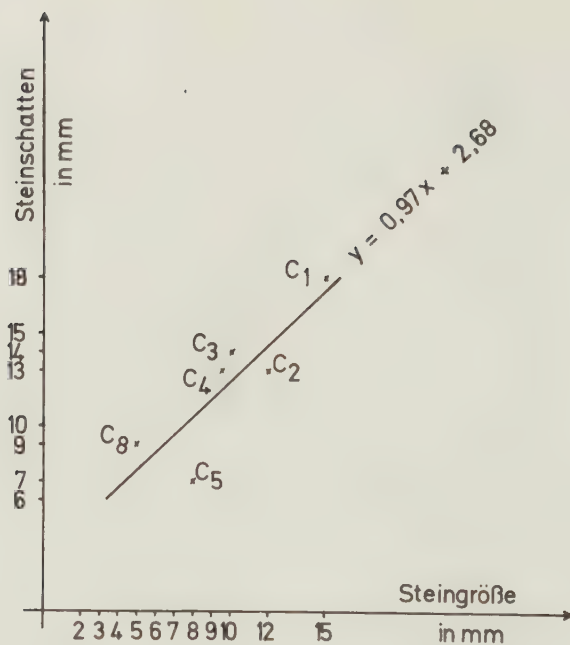
Nr	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀	F ₁₁	F ₁₂
Steingröße	15	12	10	9,5	8	7	6	5	4	3	2	
Steinreflex	21	22	20	19	14	13	16	12	11	10	8	

Abb. -2- : Serie F, Größenvariation
 Beziehung von Steingröße zu Steinreflex
 (vgl. Abb. 10,11)



Nr	G ₂	G ₁₀	G ₄	G ₆	G ₈	G ₁₁	G ₅
Steingröße	39	30	22	22	21	21	18
Steinreflex	45	38	29	29	27	25	24

Abb. -3- : Serie G, Größenvariation
 Beziehung von Steingröße zu Steinreflex
 (vgl. Abb. 12,13)

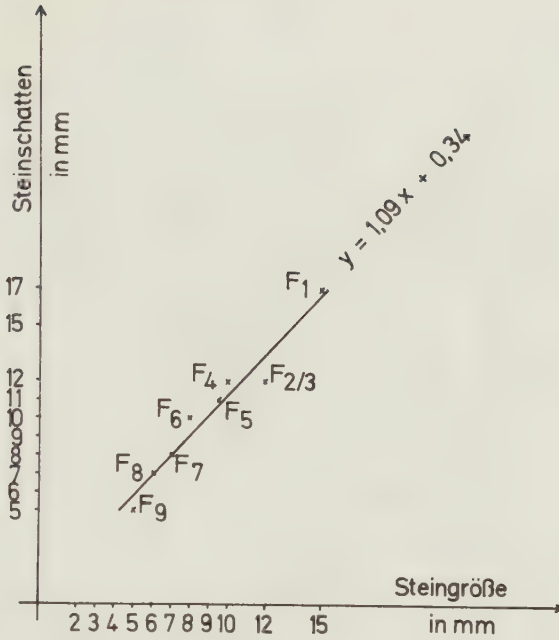


Nr	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁
Steingröße	15	12	10	9,5	8	7	6	5	4	3	2
Steinschatten	18	13	14	13	7			9			

Abb. -4- : Serie C, Größenvariation

Beziehung von Steingröße zu Steinschatten

(vgl. Abb. 10,11,18,20)

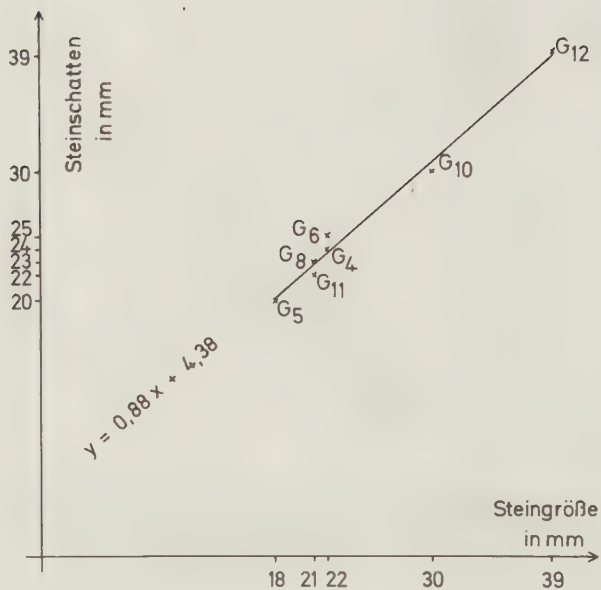


Nr	F1	F2/3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
Steingröße	15	12	10	9,5	8	7	6	5	4	3	2
Steinschatten	17	12	12	11	10	8	7	5			

Abb. -5- : Serie F, Größenvariation

Beziehung von Steingröße zu Steinschatten

(vgl. Abb. 10,11)



Nr	G12	G10	G4	G6	G8	G11	G5
Steingröße	39	30	22	22	21	21	18
Steinschatten	39	30	24	25	23	22	20

Abb. -6- : Serie G, Größenvariation

Beziehung von Steingröße zu Steinschatten

(vgl. Abb. 12,13)

FORMEN

Nr	größter Durchmesser	Stein- form	Stein- reflex	Stein- schatten
H ₁	7	rundlich	14	angedeutet
H ₂	7	kegelförmig	12	8
H ₅	7	polyedrisch keilförmig	10	8
H ₇	7	eiförmig	15	7
C ₅	8	rund	13	7
D ₄	8	pyramidenf. facettenartig	17	9
D ₂	8	polyedrisch	17	8
D ₁	8	geweihförmig	14	10
D ₈	8	stabförmig	17	6

Abb. -7- : Serie D,H,C₅, Größenvariation
(vgl. Abb. 14,15,19,21)

FORMEN

Nr	Durchmesser	Stein- form	Stein- reflex	Stein- schatten
H ₁₂	8 / 8 / 6	dreieckig platt	14	9
H ₁₃	8 / 7 / 7	polyedrisch	15	10
H ₄	8 / 7 / 5	dreizipflig	11	10
H ₆	8 / 6 / 5	eiförmig	16	8
H ₈	8 / 6 / 4	oval , platt	16	10
H ₁₁	8 / 6 / 4	bügeleisen- förmig	11	8
H ₁₀	9 / 9 / 7	rundlich	15	10
H ₃	9 / 9 / 8	dreiflüglig	14	10
H ₉	9 / 4 / 3	stiftförmig	13	12

alle Messungen über den größten Durchmesser

Abb. -8- : Serie H, Formenvariation
(vgl. Abb. 14,15)

Oberflächen

Nr	größter Durchmesser	Stein- oberfläche	Stein- reflex	Stein- schatten
D ₅	10	glatt	20	12
C ₃	10	höckerig warzig	18	14
E ₉	10	grobstachlig	24	13
E ₁	12	glatt warzig	17	10
E ₇	12	glatt gefurcht	22	8
E ₄	12	höckerig gefurcht	23	12
E ₃	12	glatt	21	10
B ₃	14	höckerig	27	14
E ₂	14	gefurcht spaltig	24	10
E ₁₀	14	feinstachlig	24	13
E ₁₁	14	warzig	21	12

Abb. -9- : Serie E, D₅, C₃, B₃, Oberflächenvariation
(vgl. Abb. 16,17)

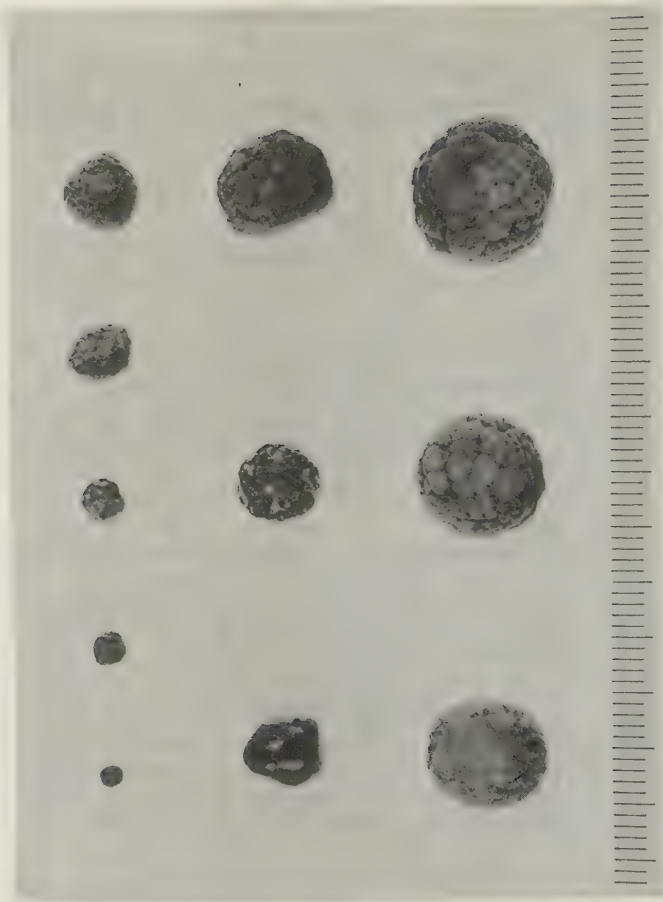


Abb. -10- : Serie C, Größenvariation

C 7	C 4	C 1
C 8		
C 9	C 5	C 2
C 10		
C 11	C 6	C 3

(vgl. Abb. 1,2,4,5,11,18,20)

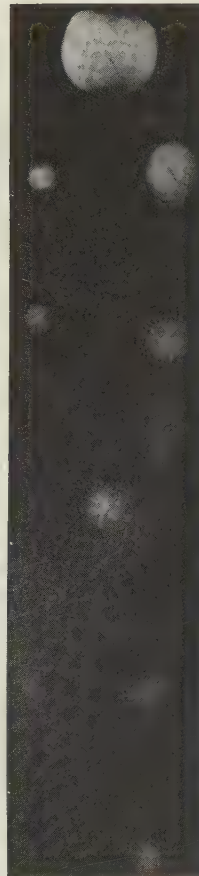


Abb. -11- : Serie C, Größenvariation und B 2

B 2

C 6

C 1

C 7

C 3

C 2

C 8

C 4

C 9

C 10

C 11

C 5

(vgl. Abb. 1,2,4,5,10,18,20,22)

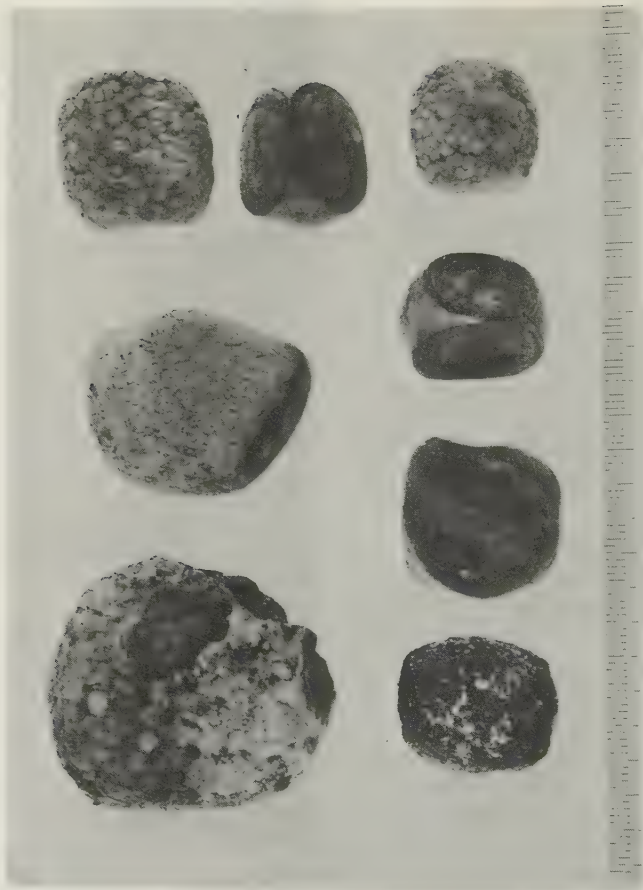


Abb. -12- : Serie G, Größenvariation und B 2

G 4	B 2	G 5
		G 11
G 10		G 8
G 12		G 6

(vgl. Abb. 3,6,11,13,22)

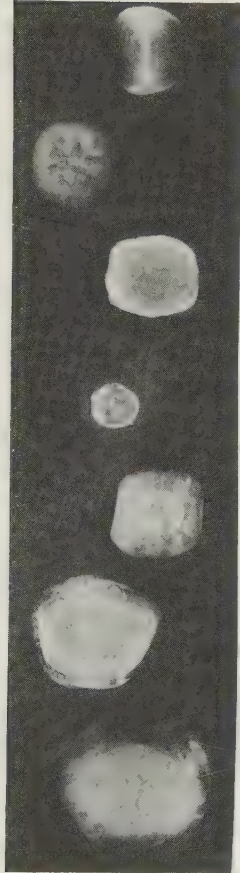


Abb. -13- : Serie G, Größenvariation

G 11

G 8

G 6

G 5

G 4

G 10

G 12

(vgl. Abb. 3,6,12)

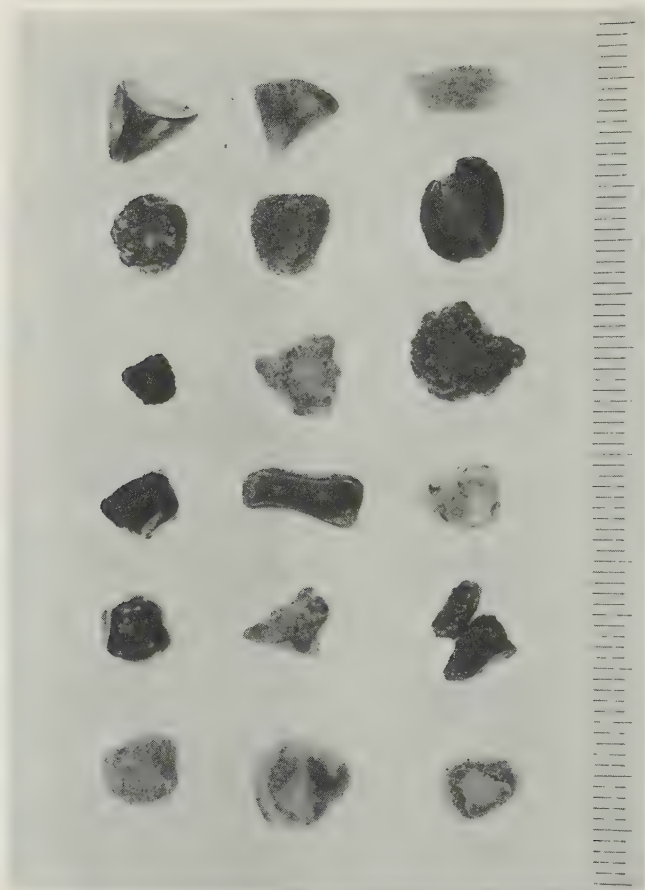


Abb. -14- : Serie D,H,C₅, Formenvariation

D 4	H 4	H 9
C 5	H 13	H 3
H 7	H 12	H 10
H 5	D 8	H 11
H 2	D 1	H 8
H 1	D 2	H 6

(vgl. Abb. 7,8,15,19,21)



Abb. -15- : Serie D,H,C₅, Formenvariation

H 11

H 8 H 9

H 6

H 4 H 3

H 13 H 10

H 12

D 1

H 7 D 8

H 5 D 2

H 2 D 4

H 1 C 5

(vgl. Abb. 7,8,14,19,21)

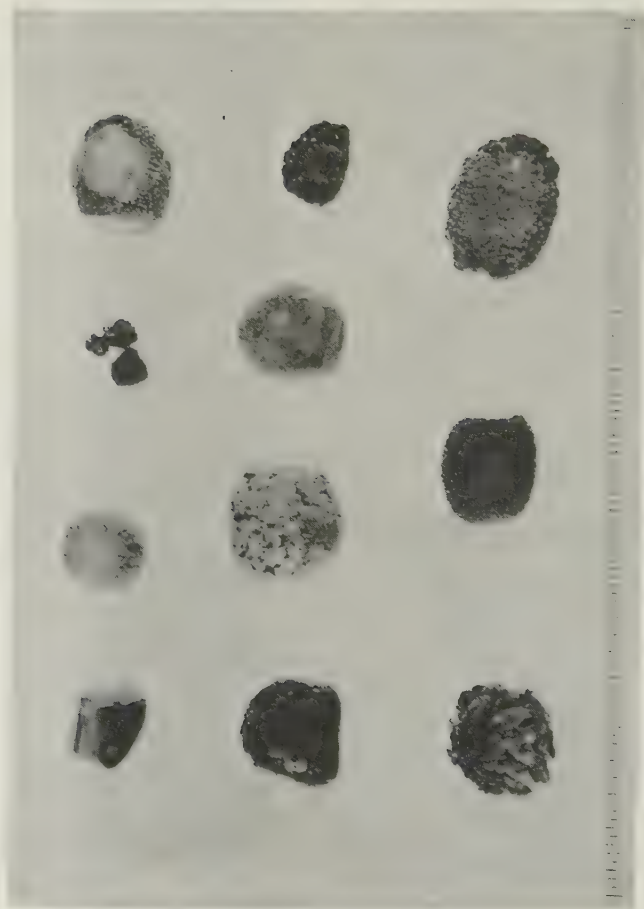


Abb. -16- : Serie E, D₅, C₃, B₃, Oberflächenvariation

E 1	B 3	E 11
E 9	E 3	E 10
C 3	E 4	
D 5	E 7	E 2

(E 9 und B 3 zerfallend)

(vgl. Abb. 9,17)

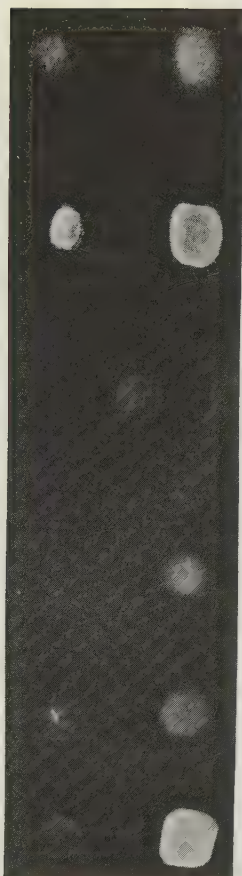


Abb. -17- : Serie E, D₅, C₃, B₃, Oberflächenvariation

E 2 E 11

B 3 E 10

E 7

E 9 E 3

C 3 E 4

D 5 E 1

(E 9 und B3 zerfallend)

(vgl. Abb. 9,16)

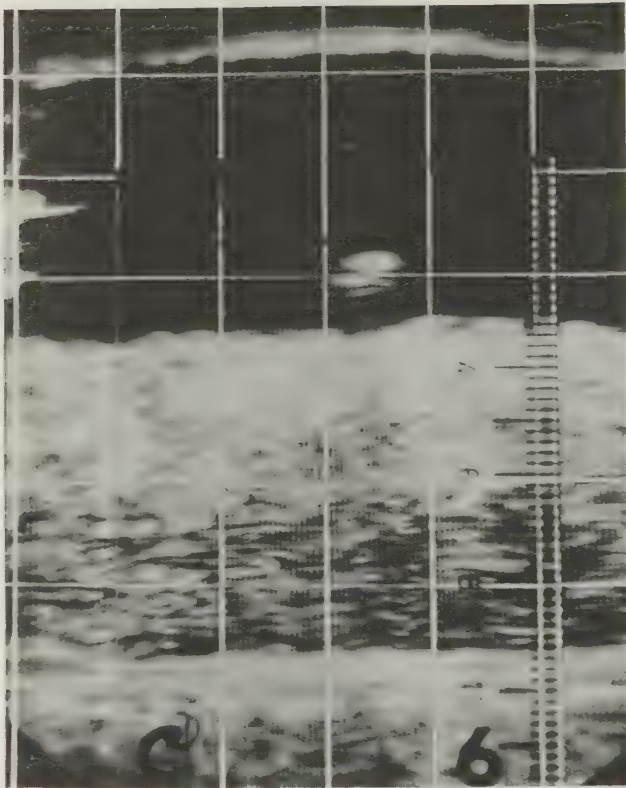


Abb.-18- : Runder Stein mit 7 mm Durchmesser (C 6), es ist kein Schatten nachweisbar.
(vgl. Abb. 1,4,10,11)

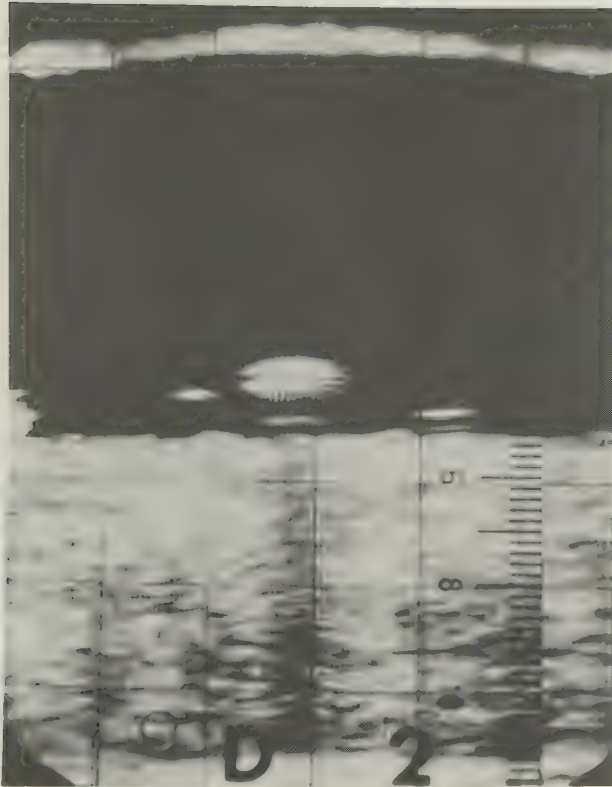


Abb. -19- : Polyedrischer Stein mit 8 mm Durchmesser (D 2),
es ist gerade ein Schatten erkennbar und meßbar
(vgl. Abb. 7,14,15)

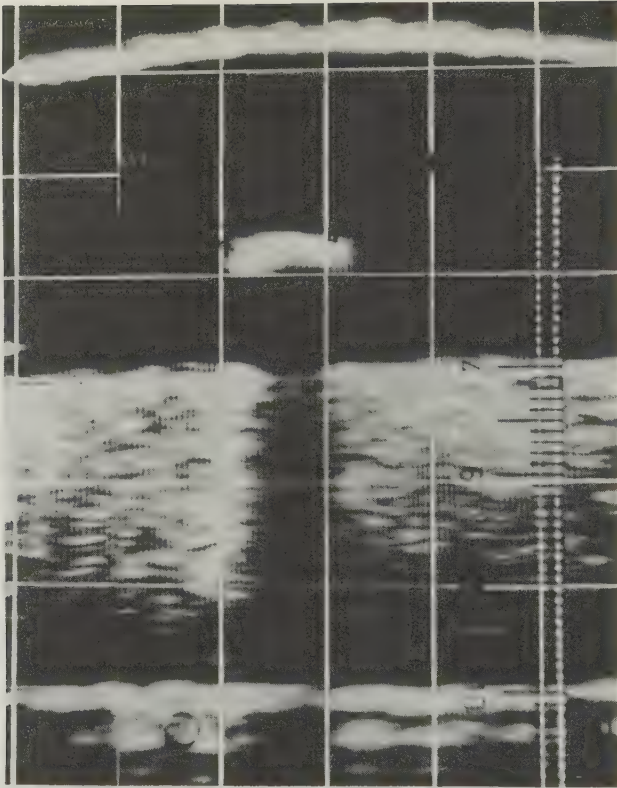


Abb. -20- : Runder Stein mit 15 mm Durchmesser (C1),
man sieht einen deutlichen Schatten
(vgl. Abb. 1,4,10,11)

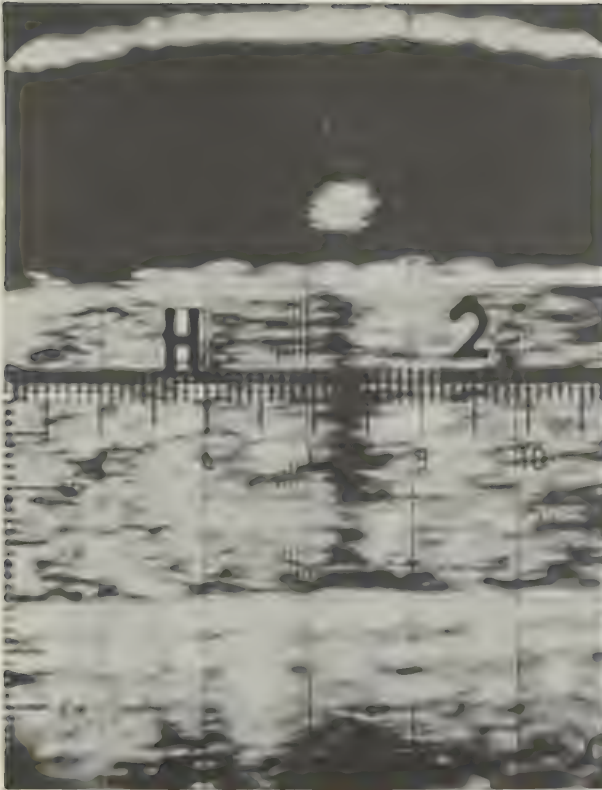


Abb. -21- : Kegelförmiger Stein mit 7 mm Durchmesser (H 2),
es ist ein Schatten klar zu erkennen und meßbar
(vgl. Abb. 7,14,15)

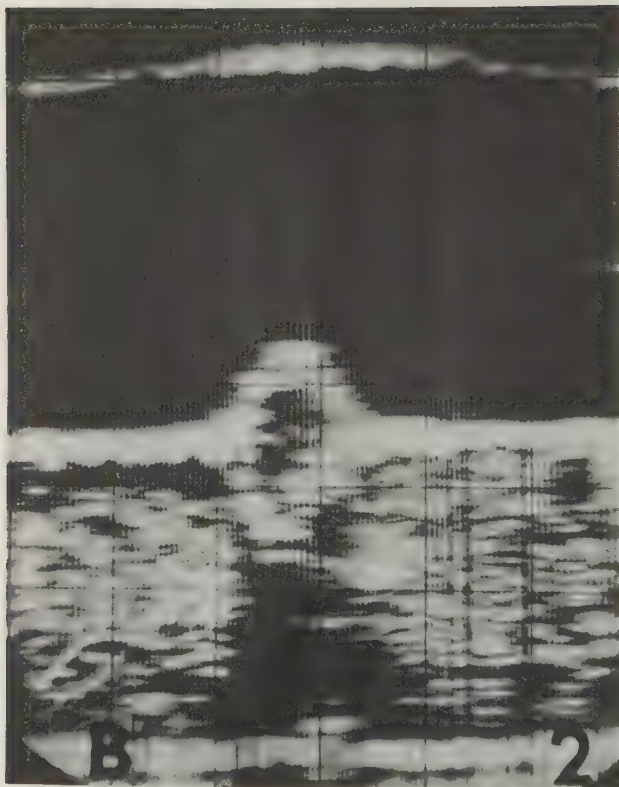


Abb. -22- : Dachförmiger, glatter Stein mit 18 mm Durchmesser (B 2),
spiegelbildliches Artefakt unterhalb des Steinreflexes,
es ist ein Schallschatten deutlich zu sehen
(vgl. Abb. 11,12)

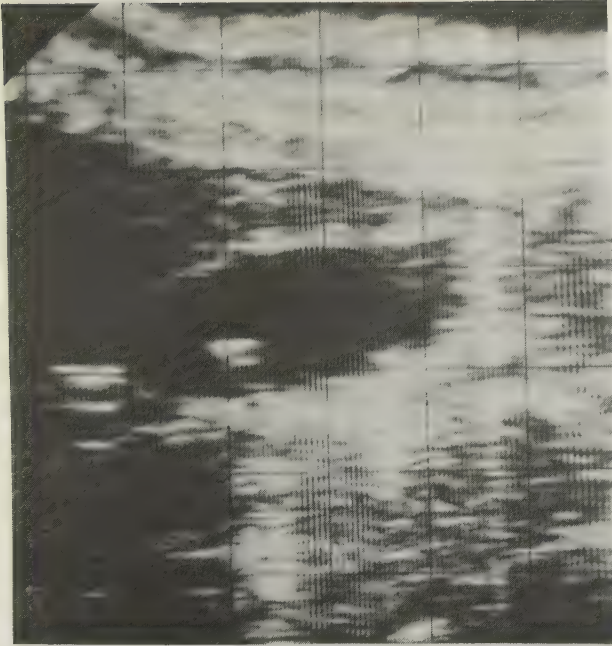
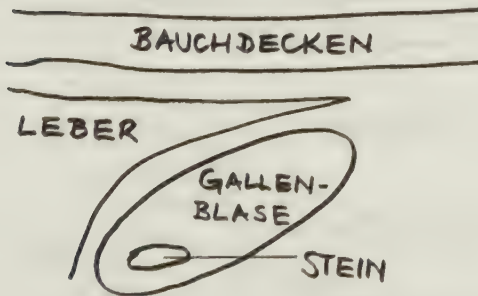


Abb. -23- : Kleiner Gallenstein ohne Schallschatten, von einem Septumreflex nur auf Grund seiner Beweglichkeit zu unterscheiden
(Längsschnitt rechter Oberbauch)



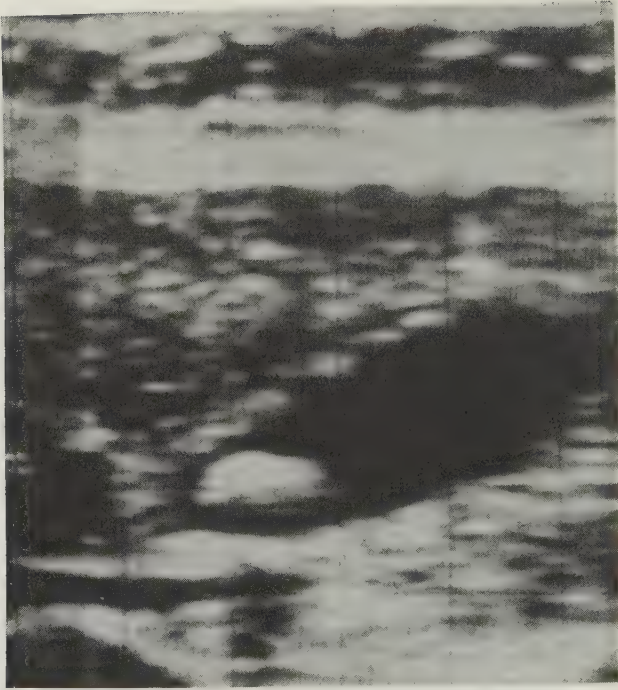
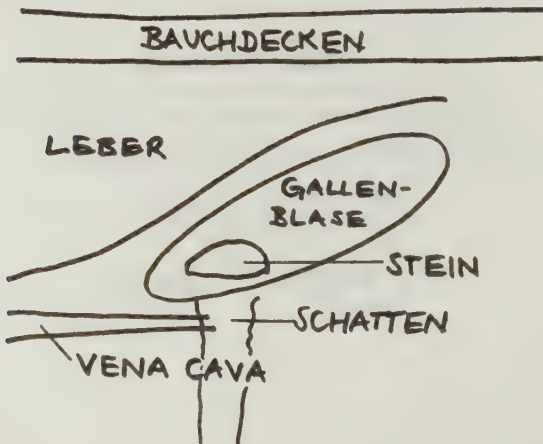


Abb. -24- : Gallenstein, Steinschatten gerade erkennbar.
(Längsschnitt rechter Oberbauch).



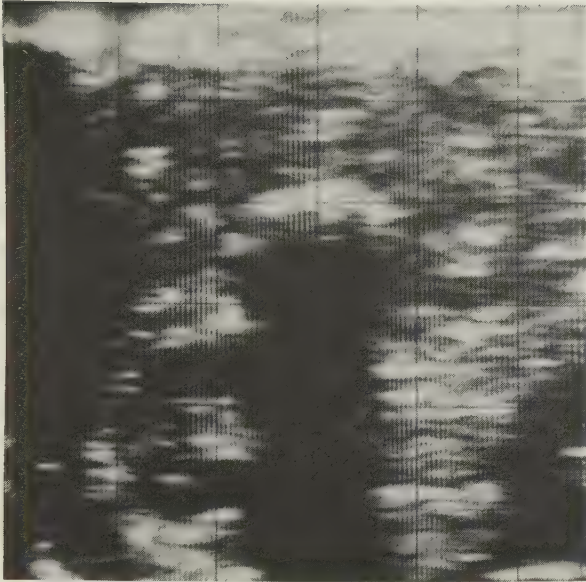
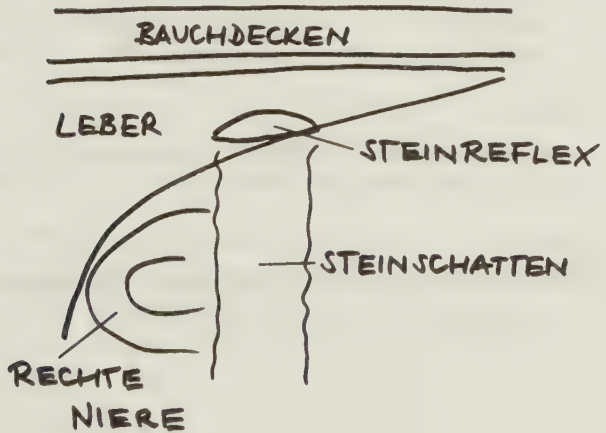


Abb. -25- : Steingallenblase: Schallschatten deutlicher als Steinreflex (Querschnitt rechter Oberbauch)



LITERATUR

1. Bannaski, H., K.H. Fischer :
Neue diagnostische Möglichkeiten des Ultraschall-Impulsecho-
verfahrens.
Med.Klin. 53 (1958), 51-55
2. Doust, B.D., N.F. Maklad :
Ultrasonic B-mode examination of the gallbladder.
Radiology 110 (1974), 643 - 647
3. Frucht, A.H. : Die Schallgeschwindigkeit in menschlichen und
tierischen Geweben.
Z. Ges. Exp. Med. 120 (1953), 526 - 557
4. Goldberg, B.B., Harris, K., W. Broocker :
Ultrasonic and radiographic cholecystography.
Radiology 111 (1974), 405-409
5. Goldmann, D.E., T.F. Hueter :
Tabular data of the velocity and absorption of high-frequency sound
in mammalian tissues.
J. Acoust. Soc. Amer. 28 (1956), 35 - 37
6. Gordon, D. :
Zwei- und dreidimensionale Ultraschalltechniken in der medizinischen
Diagnostik.
Schweiz. med. Wschr. 99 (1969), 976 - 984
7. Hilz, E. :
Physik und Technik der Ultraschall-Diagnostik.
Elektromedizin 36 (1969)
8. Hublitz, U.F., Kahn, P.C., L.A. Sell :
Cholecystosonography. An approach to the nonvisualized gallbladder.
Radiology 103 (1972), 645 - 649

9. Krause, W., R. Soldner :
Ultraschall-Scanner mit hoher Bildfolge für die medizinische Diagnostik.
Biomed. Technik 16 (1971), 87 - 89
10. Kresse, H. :
Grundlagen der Deutung des Ultraschall-Echobildes in der medizinischen Diagnose.
Elektromedizin 13 (1968), 169 - 183
11. Ludwig, G.D., F.W. Struthers :
Detecting gallstones with ultrasonic echoes.
Electronics 23 (1950), 172 - 178
12. Ludwig, G.D. :
The velocity of sound through tissues and the acoustic impedance of tissues.
J. Acoust. Soc. Amer. 22 (1950), 862-866
13. Lutz, H., G. Rettenmaier :
Sonographische Nierendiagnostik.
Dtsch. med. Wschr. 98 (1973), 361 - 364
14. Lutz, H., Seidl, R., Petzoldt, R., H.F. Fuchs :
Gallensteindiagnostik mit Ultraschall.
Dtsch.med. Wschr. 100 (1975), 1329 - 1331
15. Matsukura, S., Shiota, A., Miki, M., T. Uchida :
The diagnosis and surgical treatment of cholelithiasis.
4 th World Congress on Gastroenterology, Copenhagen 1970.
16. Tokano, M., Sanefuji, S., S. Takada :
Ultrasonic diagnosis of the diseases of the liver and biliary tract.
Gastroent. jap. 4 (1970), 256 - 257

17. Smoldas, J. :

Some problems of the ultrasonic diagnosis of bile stones.
Digestion 3 (1970), 65 - 72

18. Wagai, T., Miyazawa, R., Ito, K., Y. Kikuchi :

Ultrasonic diagnosis of intracranial disease, breast
tumours and abdominal diseases.

In: Kelly, E. (ed.):

Ultrasonic Energy (Univ. of Illinois Press: Urbana (1965), p.346-373

19. Wolpers, C. :

Morphologie der Gallensteine.

Leber Magen Darm 4 (1974), 43 - 57

20. Yamada, T., Haraikawa, H., S. Ibuka :

Statistical review of cholelithiasis.

Therapeutics 24 (1970), 463-469

Herrn Professor Demling danke ich für die Übernahme des Referates.

Herrn Dr. H. Lutz danke ich für die Überlassung des Themas.

LEBENS LAUF

Am 13. Januar 1949 wurde ich, Hermann Magerl, als Sohn des Bäckermeisters Hermann Magerl und seiner Ehefrau Ottilie, in Obertraubling geboren. Im September 1955 wurde ich in Obertaubling eingeschult. 1960 wechselte ich in das Albrecht-Altdorfer-Gymnasium nach Regensburg. 1961 trat ich in das Johannes-Nepomuk-Gymnasium in Rohr/Ndb. über und legte dort im Juni 1970 das Abitur ab.

Im Wintersemester 1970/71 belegte ich das Fach Betriebswirtschaftslehre an der Universität in Regensburg. Im Sommersemester 1971 begann ich an der Universität Erlangen-Nürnberg mit dem Studium der Humanmedizin. Im März 1972 legte ich das Vorphysikum und im Mai 1973 das Physikum ab. Im Sommersemester 1976 schließlich absolvierte ich das Staatsexamen.

Mit dem med. Staatsexamen schloß ich am 4. August 1976 mein Studium ab.

Erlangen, im Oktober 1976

Hermann M a g e r l

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen, Hauptstr. 109 (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990